実験データに非反証な線形制御器のパラメータチューニング

学籍番号 : 90124163 藤井研究室 室山 智彦

1 はじめに

プラントに対する制御問題を考える場合, 実システムのパラメータを得るためにシステムの同定を行なわなければいけない場面が存在するが, プラントや外乱をモデリングしようとしても同定に多くの時間とコストがかかる. 一方, データは対象であるプラントの動特性を豊富に含んでおり, モデルとして情報を圧縮するよりも, それらの情報を直接用いることも, 制御系設計の一つのアプローチとして考えられる. そこでここでは参照入力を実験データに合致させることで所望の応答を達成する線形制御器のパラメータチューニング手法について述べる.

なお, 本手法を類似の手法に VRFT と FRIT があるが, これらは制御器の分母または分子どちらかしかチューニングできないが, 本論文で提案する手法は全パラメータをチューニングすることができる.

2 問題設定

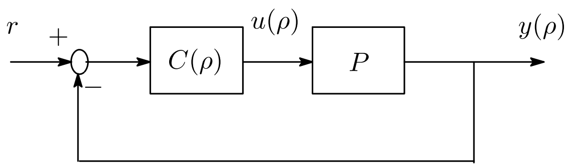

Fig. 1: 1 自由度コントローラ

本論文で対称にするプラントは 1 入力 1 出力で線形時不変なシステムを対象にする. ここでこの閉ループ系はあるコントローラで安定化されているとしデータ u_0, y_0 を得たとする. また所望の応答 $y_d = T_d r$ も与えられているとする. このとき本論文では

$$\|y(\rho) - T_d r\|^2 \longrightarrow \min \tag{1}$$

となる $y(\rho) = \frac{PC(\rho)}{1+PC(\rho)} r$ を達成する $C(\rho)$ を求める.

3 提案手法

コントローラの伝達関数を $C_O(z) = \frac{N(\rho,z)}{D(\theta,z)}$ とおくと,

$$\epsilon = y_0 - T_d(z)(C_O(z)^{-1}u_0 + y_0) \tag{2}$$

この式の両辺に $N(\rho, z)$ をかけると,

$$\begin{aligned} N(\rho,z)\epsilon &= N(\rho,z)y_0 - D(\theta,z)T_d u_0 - N(\rho,z)T_d y_0 \\ &= N(\rho,z)(1-T_d)y_0 - D(\theta,z)T_d u_0 \\ &= N(\rho,z)Y_s - D(\theta,z)U_T \end{aligned} \tag{3}$$

上式では $(1 - T_d)y_0 = Y_s$, $T_d u_0 = U_T$ とおいた.

$$N(\rho,z) = \rho_n z^n + \rho_{n-1} z^{n-1} + \cdots + \rho_0 \tag{4}$$

$$D(\theta,z) = \theta_m z^m + \theta_{m-1} z^{m-1} + \cdots + \theta_1 z + 1 \tag{5}$$

とおく. 今回は最小二乗法を用いるため $D(\theta, z)$ の係数を正規化し定数項を 1 とおくことにした. (4) 式, (5) 式を (3) 式に代入し, $N(\rho, z)\epsilon = e$ とおくと

$$\begin{aligned} e' &= N(\rho,z)Y_s - D(\theta,z)U_T \\ &= (\rho_n z^n + \rho_{n-1} z^{n-1} + \cdots + \rho_0)Y_s \\ &- (\theta_m z^m + \theta_{m-1} z^{m-1} + \cdots + \theta_1 z + 1)U_T \end{aligned} \tag{6}$$

ここで z を時系列データを 1 つシフトさせるオペレータみなし, 行列式に変換する.$Y_s(k)$,$U_T(k)$ をそれぞれ k シフトした時系列データとすると以下のように変換することができる.

$$A = \begin{bmatrix} Y_s(n) & \cdots & Y_s(0) & -U_T(m) & \cdots & -U_T(1) \\ \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ Y_s(N+n) & \cdots & Y_s(N) & -U_T(m+N) & \cdots & -U_T(N+1) \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} U_T(0) \\ \vdots \\ U_T(N) \end{bmatrix}, \phi = \begin{bmatrix} \rho \\ \theta \end{bmatrix}$$

とおくと,

$$Y = A\phi + e' \tag{7}$$

とかけるので, 準最適なパラメータ ϕ^* は

$$\phi^* = (A^T A)^{-1} A^T Y \tag{8}$$

で求めることができると考えられる. (2) 式の ϵ を 0 にすることと (6) 式の e' を 0 にすることの等価性は証明することができる. 詳細は卒論本文にて説明する. さらに (2) 式の ϵ を 0 にすることと (1) 式を 0 にすることは等価であるといえる. 以上の方法によりコントローラの分子部分, 分母部分のパラメータを同時にチューニングし, 所望の応答が得られるかシミュレーションし, 台車系を用いた実験を行なう.

4 台車系を用いた実験

シミュレーションにより求めたパラメータをコントローラに実装し台車系を用いて実験を行なう. 今回用いた実験機は倒立振子の台車である. 初期設定としてサンプリングタイムは $\triangle t = 0.01$, 目標応答 $T_d = \frac{1}{(0.5s+1)^2}$ とし, 用いる入出力データは初期コントローラは $C_O = 10$ とし, 台車計にコントローラを実装することで得た. 参照入力には $r = 0.1$ のステップ信号を用いる.

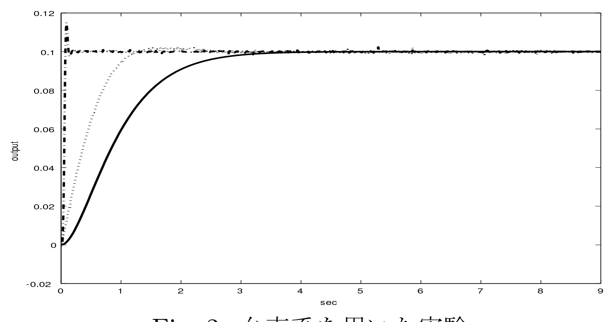

Fig. 2: 台車系を用いた実験

破線は用いた入出力データ, 実線は目標応答, 点線は入出力データから求めたパラメータをコントローラに用いた応答である. 台車系を用いた実験でも目標応答に追従するパラメータを求められ, 応答が改善できたことが確認できる.

5 おわりに

今回提案した方法によりコントローラのパラメータを 1 組の入出力データによりチューニングするでき実験でも有用性を確認することができた.